Pierre-Gérard Fontolliet 8 mai 2001

Leçon d'honneur

DU TELEPHONE DE BELL... ...A LA TOUR DE BABEL

Historique

"Nous sommes des nains juchés sur les épaules de géants".

Ainsi s'exprimait Bernard de Chartres au 12me siècle, déjà. Ce que nous sommes, nous le devons en majeure partie à nos prédécesseurs.

C'est vrai à plus forte raison aujourd'hui, en particulier dans le domaine des télécommunications, pour nous tous, usagers, producteurs de matériel, opérateurs ou prestataires de services. Nous sommes à la fois les **héritiers** et les **acteurs** d'une fantastique **aventure** humaine, passionnée et passionnante.

D'innombrables **péripéties** marquent cette aventure; certaines sont couronnées d'un succès foudroyant, d'autres restent à l'état de projet farfelu ou tombent dans l'oubli.

Avec un peu de recul, on peut distinguer, au cours de ces 125 dernières années, **quatre grandes étapes**, évoquer quatre dates, quatre bonds majeurs, quatre nouveautés fondamentales qui ensemble, bien que consécutivement, conduisent à ce que sont les télécommunications aujourd'hui.

1876: le téléphone

Mon grand-père avait deux ans.

Le 14 février 1876, **Alexander Graham Bell** dépose un brevet curieusement intitulé *"Improvements in telegraphy".* En fait, il avait inventé le téléphone, basé sur un microphone à liquide. Bell était professeur de physiologie, il s'intéressait aux sourds-muets, bien plus qu'aux lois de l'électricité. On peut donc dire que les sciences de la vie ne sont pas étrangères à l'invention du téléphone (mais il faut bien reconnaître que ce sont des ingénieurs qui en ont assuré le développement!).

Le même jour, mais quelques heures plus tard, un inventeur malchanceux, **Elisha Gray,** demande un brevet sur le même sujet. Trop tard!...(Melles et MM. les étudiants, dépêchez-vous de faire breveter vos idées!)

Cette invention n'eut pas d'écho sur le moment. Face au succès du télégraphe (câble transatlantique en 1866, longues distances: Londres - Calcutta, 11'000 km, par les frères Siemens en 1870), le téléphone faisait figure d'attraction de laboratoire, sa qualité sonore était mauvaise, les distances étaient très courtes.

"This telephone has too many shortcomings to be seriously considered as a new means of communication.
The device is inherently of no value to us"
(Western Union internal memo, 1876)

Néanmoins Bell y croit et en perfectionne le principe (microphone/écouteur électromagnétique). Le succès est alors explosif. Le téléphone devient plus populaire que le télégraphe, réservé aux professionnels.

1880: 30'000 lignes aux USA, 2000 en Europe
1900: 1,9 million de lignes dans le monde, dont 0,8 million en Europe.

1901: la radio (TSF)

Le 12 décembre 1901, **Guglielmo Marconi** réalise la première transmission sans fils outre-Atlantique (• • •, "S" en Morse). Une année plus tard, le 17 décembre 1902, il réussit à transmettre le premier télégramme d'Europe aux USA.

Mon père avait une année.

Cette réussite est le résultat de la convergence de plusieurs travaux sur le plan international, notamment ceux d'un Allemand, **Heinrich Hertz**, le théoricien des ondes électromagnétiques, d'un Français, **Edouard Branly**, inventeur du cohéreur à limaille (récepteur) et d'un Russe, **Alexander Popov** , qui développa les antennes.

Mais quelles pourraient être les applications de la radio?

Sir William Thomson, devenu Lord Kelvin, par ailleurs enthousiaste du téléphone, écrivait à l'époque:
"*Radio has no future*"...

Pourtant en 1912, la TSF permet de sauver 700 rescapés du naufrage du Titanic.

1938: la modulation par impulsions et codage PCM

Enoncée dans un brevet par **Alec Reeves**, c'est probablement l'invention la plus importante du XXme siècle pour les télécommunications.

J'avais deux ans.

Cette invention jette un pont entre l'analogique et le numérique. C'est une idée **décisive** pour l'évolution des télécommunications, mais **abstraite**. C'est pourquoi elle fut ignorée du grand public.

En fait, elle est venue trop tôt, 10 ans avant l'invention du transistor, 10 ans avant la théorie mathématique de l'information.

Le principe consiste à remplacer le flux continu de la parole par une séquence de nombres décrivant des niveaux discrets. Elle implique une erreur d'arrondi qui se manifeste par un bruit particulier, superposé au signal: le bruit de quantification.

Je ne résiste pas à l'envie de vous faire entendre le résultat de cette opération que vos communications téléphoniques subissent sans que vous vous en rendiez compte.

La qualité téléphonique numérique actuelle, à 256 niveaux (8 bit), est tout à fait acceptable. Mais en réduisant le nombre de niveaux progressivement à 128 (7 bit), puis 64 (6 bit), jusqu'à 4 (2 bit), le bruit de quantification devient franchement désagréable. Avec un seul bit (2 niveaux: positif ou négatif), seul le signe du signal est transmis. Cette misérable qualité (pourtant encore vaguement intelligible!) devait à peu près être celle du téléphone que **Philip Reis** inventa en 1860, 16 ans avant Bell, en actionnant un contact électrique avec les vibrations d'une membrane mue par la parole.

1975: la transmission optique

Soit entre les années de naissance de nos deux fils.

L'idée de guider la lumière dans un jet d'eau ou dans un barreau de verre est ancienne. En revanche, la proposition faite par **Charles K**. **Kao** et **George A. Hockham** d'utiliser ce phénomène pour transmettre des informations binaires remonte à 1966, mais n'était guère réalisable à cette date, vu que les fibres de verre disponibles avaient alors un affaiblissement de 1000 dB/km!

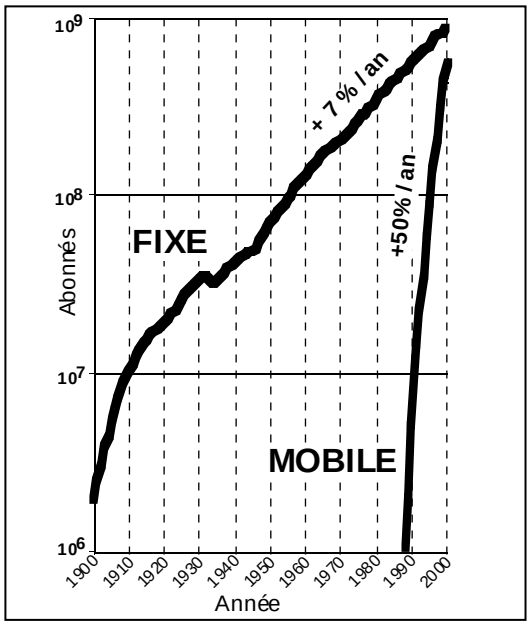
Néanmoins en 1975, une fibre de silice avec 8 dB/km permet d'atteindre un débit de 45 Mbit/s, fort respectable pour l'époque.

C'est véritablement une percée technologique, un nouveau milieu de transmission est né.

Présent

Ainsi en quatre générations, les télécommunications ont passé des premiers balbutiements à ce que l'on peut considérer comme la plus grande machine du monde et peut-être aussi la plus complexe.

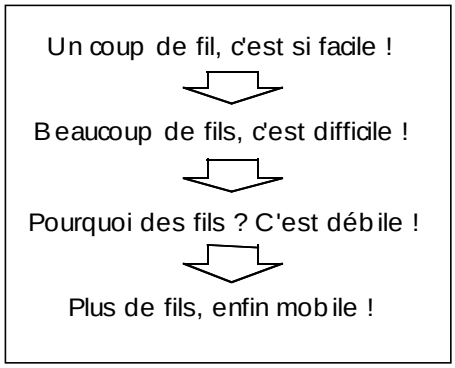
Qu'est-il advenu des quatre sauts technologiques que je viens d'évoquer?



Le **téléphone** a connu un développement exponentiel régulier, passant de 1,9 millions à 900 millions de raccordements fixes en un siècle (+7% par année). Ce nombre double donc tous les 10 ans et s'accroît actuellement d'environ un million par semaine.

La convergence du téléphone, de la radio et du numérique a conduit à l'explosion de la **téléphonie mobile**, au-delà des prévisions les plus optimistes: 700 millions d'usagers dans le monde (+50% par an).

Du téléphone encombrant de Bell dont le seul écouteur pesait 2 kg, on a passé aux premiers Natels transportables (20 kg), puis au terminal de poche de moins de 80 g.



On ne dira plus désormais: "lancer un coup de fil".

Le slogan publicitaire des années 70 ("un coup de fil, c'est si facile") est détrôné par la revendication actuelle: "pourquoi des fils?, c'est débile!"

Vous êtes-vous déjà **émerveillés** devant les performances des télécommunications modernes?

- devant la qualité de la réception radio en FM et stéréo?
- devant la télévision en couleur?
- devant l'incroyable miniaturisation et la complexité des fonctions d'un téléphone de poche?
- en 1969, le monde entier assistait, médusé, en direct, au premier alunissage
- en 1989, la sonde spatiale Voyager 2 nous envoyait des photos des anneaux de Neptune (dont on ignorait l'existence jusqu'alors!)

Cependant un enfant (sur une publicité récente de Swisscom) nous rappelle ce que nous avons peut-être oublié: "Communiquer est un (petit) miracle au quotidien". Les télécommunications n'y ont en fait aucun mérite (un téléphone à ficelle, d'après l'invention de **Robert Hooke** en 1667, suffit au bonheur de cet enfant!), mais elles en amplifient démesurément la portée et les possibilités.

Le **trafic** total va probablement être multiplié par 10 durant ces cinq prochaines années. Celui d'Internet double tous les 100 jours (actuellement env. 400 millions d'usagers). Mais si le trafic de données est actuelllement déjà à peu près à égalité avec le trafic téléphonique, il ne faut pas oublier que 80% des revenus des opérateurs proviennent encore de la téléphonie!

L'affaiblissement minimal des fibres optiques a passé de 8 dB/km en 1975, à moins de 0,2 dB/km à 1550 nm. La capacité potentielle d'une seule fibre dans cette "fenêtre" de longueur d'onde est monstrueuse: env. 12 THz ("téra" signifie en effet littéralement "monstre"), soit l'équivalent de 120 millions de voies téléphoniques numériques ou de 80'000 canaux de télévision. Elle n'est cependant pas encore exploitable actuellement. Un débit de 1 Tbit/s par fibre (1000 milliards d'impulsions à la seconde!) représente déjà une performance extraordinaire.

Avec ces quelques chiffres astronomiques, mon but n'est pas de vous donner le vertige, ni de glorifier les exploits d'une technique, au demeurant tout à fait remarquable.

Je souhaite plutôt soulever deux questions:

- comment tout cela va-t-il continuer ?
- qu'allons-nous faire avec ces fantastiques possibilités ?

Perspectives

Vers quoi allons-nous?

Après la série des quatre inventions majeures que j'ai évoquées, espacées d'environ 30 ans, c'est-à-dire une génération humaine, quelle sera la cinquième?

Bien que je sois en âge d'être grand-père, je ne le suis pas encore. Je ne peux donc pas dire de quel nouveau bond technologique mes petits-enfants seront les contempo-rains...

D'ailleurs il est difficile d'être prophète (surtout en ce qui concerne l'avenir) et je n'ai aucun don pour la futurologie.

En 1888, le directeur de l'office américain des brevets donne sa démission en disant que, de toute façon, il n'y a plus rien à inventer... A notre époque blasée, on serait peut-être tenté de penser comme lui. L'avenir se chargerait sans doute de nous donner tort!

Je ne me risquerai donc à aucun pronostic. En revanche, je me permettrai d'exprimer quelques **espoirs** et quelques **préoccupations**.

Depuis longtemps aux USA, depuis quelques années en Europe, les télécommunications sont bouleversées par la fièvre de la **libéralisation**:

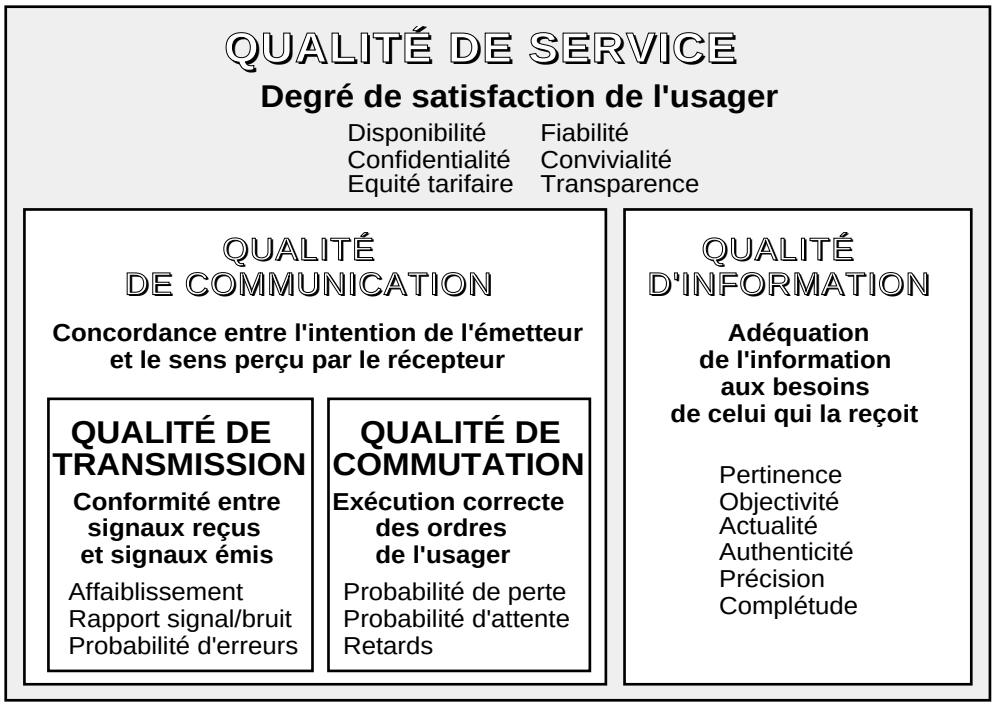
- les monopoles d'Etat s'écroulent pour faire place au marché libre,
- un certain paternalisme des administrations et de l'opérateur jusqu'alors unique (souvent accompagné de perfectionnisme) s'estompe devant le bouillonnement impatient de la concurrence,
- l'ère des diplodocus végétariens qui broutaient en paix dans leur territoire réservé est menacée par une invasion de tyranosaures carnivores (les nouveaux opérateurs), agressifs et affamés...

La conséquence est une émulation sans précédent et une baisse spectaculaire des prix, mais aussi des complications techniques et juridiques (multiplication des infrastructures, complexité des interfaces, problèmes d'interconnexion).

Face à cette effervescence, le rôle du **régulateur** est primordial (en Suisse: la Commission fédérale de la communication ComCom, assistée de l'OFCOM).

Il doit

1. promouvoir une véritable **concurrence** dans le marché des télécommunications, ce qui n'est pas évident dans le contexte mouvant des alliances, des fusions et de l'émergence de nouveaux oligopoles,
2. veiller à la **qualité de service**. J'entends par là le degré de satisfaction des usagers. Elle ne dépend pas seulement de facteurs techniques tels que la **qualité de transmission**, aisément chiffrable en termes d'affaiblissement, de largeur de bande, de débit binaire, de rapport signal-sur-bruit et de probabilité d'erreurs, ou la **qualité de commutation**, elle aussi quantifiable en termes de taux d'accès correct au destinataire souhaité, de rapidité de connexion, de probabilités d'encombrement, de refus ou d'attente.



La qualité de service inclut aussi des aspects plus difficiles à cerner, mais auxquels l'usager est très sensible: la disponibilité du service (en tout lieu et en tout temps), la fiabilité (absence de pannes), la confidentialité des communications et de leurs paramètres, l'équité tarifaire, la compatibilité des équipements, la convivialité des interfaces, la transparence de la tarification et de la facturation, etc.

A cela s'ajoute la **qualité d'information**, c'est-à-dire l'adéquation du contenu aux besoins de celui qui le reçoit. Elle comprend entre autres la pertinence de l'information, son objectivité, son actualité, son authenticité, sa précision, sa complétude.

Le marché, livré à lui-même, fera-t-il les bons choix? Un risque réel existe de dérive vers le minimalisme qualitatif (pudiquement appelé *"best effort"*) et vers l'opportunisme économique.

Dans un domaine technique aussi complexe et imbriqué, il est absolument nécessaire d'édicter des règles, des normes et des standards très précis, et de les faire respecter dans l'intérêt de tous, afin de garantir la **cohérence** des systèmes, des réseaux et des services au niveau national, international et mondial. C'est le rôle de l'UIT, de l'ETSI et d'autres organismes de standardisation.

La loi garantit le **service universel**, service de base obligatoirement offert partout et aux mêmes conditions. Il est actuellement centré sur la téléphonie et les services compatibles avec elle. L'opportunité de l'élargir, au moins à titre optionnel, à un accès à haut débit est un problème politique qui ne pourra plus être esquivé.

La **ligne d'abonné** (réseau d'accès) reste le dernier bastion physique du monopole. Alors que l'Union européenne a décidé d'en ouvrir l'usage à la concurrence par le biais du dégroupage *(unbundling)* dès le 1er janvier 2001, la Suisse tergiverse sur ce point sensible, mais pourtant essentiel au développement d'un réseau d'accès ubiquitaire et performant.

Des solutions alternatives à plus ou moins haut débit se mettent en place plutôt timidement: câblomodems sur le réseau câblé de télévision, *Powerline Communication* sur le réseau de distribution d'énergie à basse tension (230V), la boucle locale radio (WLL), peut-être UMTS (communications mobiles dites

de 3me génération), mais aucune ne peut prétendre au degré de pénétration, à la fiabilité ou à la capacité (individuelle et non partagée) du réseau de cuivre actuel.

Les lignes locales représentent une moyenne d'env. 8 kg de cuivre par abonné, elles ne sont en général utilisées que quelques minutes par jour et bien en dessous de leur capacité.

L'arrivée généralisée de la fibre optique jusque chez l'usager se heurte, quant à elle, à des problèmes économiques et d'exploitation qui en repoussent la mise en place à une date encore lointaine, même aux dires des plus optimistes.

Une grande **euphorie** s'est emparée du secteur des télécommunications en Europe l'an dernier. Elle a connu son sommet lors de l'attribution de licences pour les réseaux mobiles de 3me génération (UMTS). Au total 130 milliards d'euros ont été dépensés, rien que pour avoir le droit d'utiliser les bandes de fréquence réservées à cet effet, avec à vrai dire des montants très différents d'un pays à l'autre (entre 13 et 653 euros par habitant). Or tout reste à faire pour installer ces réseaux et les exploiter.

Cette euphorie a très subitement fait place à une certaine **désillusion**, motivée non seulement par une pénurie de fonds, mais aussi par une profonde incertitude quant aux applications futures des débits croissants promis par UMTS (2 Mbit/s, sans fils), d'une part, et surtout par le réseau intégré à large bande RILB (une ou plusieurs centaines de Mbit/s sur des fibres optiques locales), d'autre part.

On est toujours à la recherche d'une **application massive** *("killer application")* qui permettrait, par un trafic substantiel, de justifier, puis de rentabiliser les énormes investissements nécessaires. Les idées futuristes ne manquent pas, mais aucune n'est vraiment convaincante. Je crains pour ma part que ce ne soient les jeux vidéo supersophistiqués en ligne, très gourmands en images animées, donc en débit binaire, qui deviennent le prétexte recherché pour amadouer le grand public...

Or, pendant que nous cherchons, par une diversification souvent futile des services offerts, à générer du trafic rentable dans un réseau menacé de saturation, **les pays en voie de développement** luttent pour s'équiper d'un réseau élémentaire de télécommunications qu'ils considèrent à juste titre comme vital pour leur développement social et économique.

La densité téléphonique moyenne est actuellement de 2 raccordements pour 100 habitants en Afrique (en Suisse: 70%). La moitié de la population mondiale n'a jamais téléphoné.

Dans ces pays, les besoins sont énormes, la fascination pour les moyens modernes tels que les satellites, les fibres optiques, Internet, voire le multimédia, y est très sensible, mais, outre les problèmes très sérieux de financement, la principale carence est celle de la **formation** de personnel qualifié à tous les niveaux, pour planifier, dimensionner, installer et exploiter en mains propres les réseaux du futur.

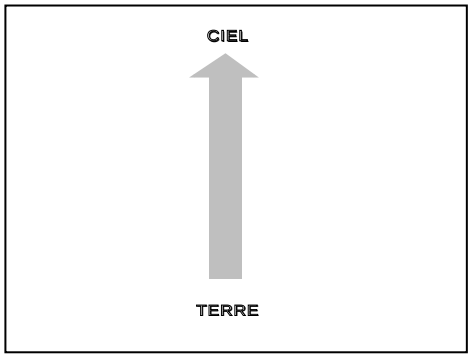
Quelques missions en Afrique pour le compte de l'UIT m'ont montré l'ampleur et l'urgence des besoins et m'ont appris à quel point un dialogue attentif et compréhensif est nécessaire et apprécié pour déboucher sur une collaboration, en particulier dans cette tâche de formation.

Babel

Le mythe biblique de la **Tour de Babel** peut nous aider à cerner le rôle des télécommunications dans le monde actuel et futur.

Le langage courant a fait de la Tour de Babel un symbole de la confusion, de l'incompréhension entre les humains, une **malédiction** divine, une punition, en réponse à leur orgueil.

Je dois à l'un de mes anciens étudiants, devenu théologien et pasteur, d'en avoir découvert une interprétation un peu différente et, malgré son archaïsme, d'une brûlante actualité en relation avec la société de l'information et de la communication que nous prétendons édifier.



La première partie de l'histoire raconte la construction d'une tour gigantesque, magnifiquement représentée par **Pieter Bruegel l'Ancien** dans deux tableaux, datant de 1563.

...Entreprise démesurée, d'une folle arrogance, dans l'intention déclarée d'atteindre les cieux et de se faire un nom connu sur toute la Terre.

...Archétype de la création technique, entièrement faite de main d'homme, artificielle, anti-naturelle.

...Projet motivant, exaltant même, et rassembleur.

C'est l'édification d'une société synchrone, galvanisée par une idéologie absolutiste, polarisée vers un seul et même but, dans un élan totalitaire où le dialogue n'a pas de place.

C'est le triomphe de la pensée unique et de la langue unique (l'anglais!), dans une dictature politique et culturelle.

Il n'y a pas de téléphone dans la Tour de Babel, parce qu'on n'en a pas besoin. Mais il y a des haut-parleurs et des écrans de télévision. Les ordres passent, sans réplique possible. L'information est diffusée, mais à sens unique.

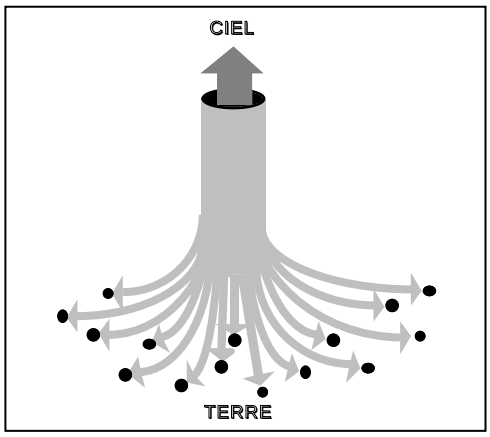
Ne serait-ce pas là une caricature de ce que risque de devenir une certaine **"société dite de l'information"**?

Serait-ce une allusion à la publicité, voire même à la propagande, diffusée insidieusement par les médias, le téléfax, les courriels ou les pages Internet?

Serait-ce le spectre anonyme des automates télégérés qui peu à peu se substituent au contact humain dans les services publics et privés?

Ou serait-ce une évocation de **l'impérialisme culturel** véhiculé par certaines séries télévisées qui inondent la planète?

Comme par hasard, la plus médiatisée des guerres modernes a précisément eu lieu en Irak, dans l'ancienne Mésopotamie où se situait Babel. La guerre-spectacle, l'horreur et la mort en direct. L'antique champ de bataille devient un théâtre, le "théâtre des opérations".



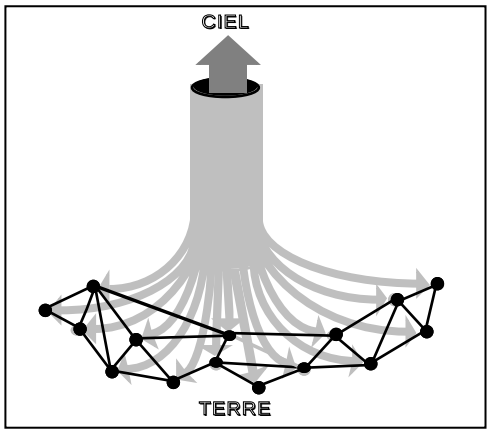
La réponse divine à cette **déshumanisation de l'humanité** est claire:

Non!, pas cela!

Retour à la case-départ, avec, en prime, la confusion des langages et la dispersion géographique.

Et si c'était, plutôt qu'une malédiction, une **nouvelle chance** donnée aux hommes? Une chance d'échapper à l'ennui de l'uniformité et à la tiédeur de la passivité. Une chance et un défi...

L'Après-Babel peut certes dégénérer dans le chaos et l'anarchie, dans le "chacun pour soi" morbide et le refus de la différence, c'est-à-dire dans l'**in-**différence généralisée.



L'Après-Babel n'est toutefois vivable que si la dispersion géographique est compensée par des **réseaux** de toute sorte et si la confusion des langages trouve son antidote dans la **communication**.

Une communication difficile et fragile, certes, mais enrichissante et féconde, précisément par **l'altérité** reconnue et acceptée.

Le **rôle des télécommunications** dans ce contexte est capital, mais **ambigu**. Elles peuvent être utilisées pour le pire et pour le meilleur. Pour l'édification d'une **société de l'information** à sens unique, ou d'une **société de la communication** authentique, bilatérale et conviviale.

Internet lui-même n'échappe pas à cette ambivalence. On y trouve littéralement à boire et à manger (en cherchant bien!), de quoi s'enivrer, se perdre ou se noyer dans l'information. Mais on peut y voir aussi une fantastique opportunité, une nouvelle chance de partage, d'échanges et de vie communautaire, un accès facilité à la culture, une renaissance de la démocratie, face à la menace de totalitarisme sournois de la Tour de Babel, ou au danger d'anarchie de l'Après-Babel, s'il est vécu comme une fatalité.

Mais pour que les télécommunications ne soient pas qu'une prouesse technique et qu'elles gardent (ou retrouvent) l'idéal de service qu'elles avaient à l'origine, pour qu'elles jouent ce rôle de lien dans la dispersion et de révélateur de la richesse des différences dans l'Après-Babel, il faut remplir une condition primordiale:

Il faut **apprendre** (ou réapprendre) **à communiquer**!

*Pour s'enrichir des **différences**,*

*Pour éviter l'**indifférence**,*

*Malgré le **bruit**,*

*Malgré la **nuit**...*

....Communiquer !

En effet, à quoi bon être relié potentiellement par téléphone ou par Internet à un milliard d'autres êtres humains, si l'on n'a plus rien à dire à son voisin?

Nous sommes tous des **sémaphores**, c'est-à-dire des émetteurs et des porteurs de signes et de signaux. Encore faut-il pouvoir (savoir) détecter, recevoir ces signaux et en déchiffrer le sens...

Mode d'emploi

L'**abondance** des moyens de communication dont nous disposons peut conduire paradoxalement à **l'isolement**. Elle contribue à rapprocher le lointain, mais risque simultanément, par alibi, d'éloigner le proche et le prochain. L'apparente facilité de la télécommunication (instantanée, indépendante de la distance) n'enlève rien à la difficulté, ni à la valeur de la communication proche.

L'**abondance** d'information qui nous submerge conduit à l'**indigestion** et nécessite une **diététique** qui consiste à trier, évaluer et structurer l'information pour la transformer en connaissance.

Pour cela, il nous faut un **mode d'emploi** de la communication. Non pas tant pour maîtriser les moyens techniques disponibles (quel clic de souris?, quelle touche? quelle adresse URL?, encore que ce ne soit pas inutile!), mais surtout pour reconnaître les possibilités et les limites, les richesses et la précarité de la communication humaine et de la relation à l'information.

Il faut cultiver **le goût et l'envie** de communiquer.

Il faut acquérir une certaine **compétence** en communi-cation.

Car la communication, même ressentie comme un besoin, s'apprend et s'exerce.

C'est le rôle crucial et indispensable de l'**éducation** à tous les niveaux, familial et scolaire.

Si je me suis investi à fond dans le long processus qui a conduit à la révision totale de la **maturité gymnasiale** suisse, c'est bien parce que je suis profondément convaincu de l'absolue et urgente nécessité de préparer nos futures élites à vivre et à évoluer (dans les deux sens du mot) dans une société imprégnée d'information et tissée de réseaux de communication, tout en se spécialisant, non pas dans le machinal, mais dans l'humain (comme disait Jean Fourastié, en parlant de l'informatique).

C'est pourquoi la nouvelle maturité (qui sera décernée dès cette année dans le canton de Vaud) insiste dans ses objectifs sur une **relation critique à l'information** et sur **l'apprentissage de la communication** claire, précise et sensible, orale, écrite et par l'expression artistique (arts visuels et/ou musique), au-delà des connaissances et des aptitudes fondamentales, bien sûr toujours indispensables, mais pas suffisantes.

On ne s'étonnera pas, dans ce contexte, de l'importance accordée à la maîtrise de la **langue première** et à l'acquisition de bonnes connaissances dans deux, voire trois **langues**, nationales ou étrangères, anciennes ou modernes, considérées les unes et les autres comme le véhicule privilégié de la communication, comme le support de la pensée et comme des vecteurs de culture.

En outre, dans le sens d'une perception plus coordonnée et cohérente de la nature, d'une part, et de la société, d'autre part, les sciences expérimentales et les sciences humaines sont invitées à **se décloisonner**, à établir des ponts entre elles, à collaborer, dans le respect des spécificités qui font leur force.

Ces intentions ont été diversement accueillies, interprétées et traduites dans les plans d'études, selon les **cantons**, selon leur tradition et ce qu'ils pensent être leur génie propre.

Le monde évolue plus rapidement que l'école. Il est cependant permis d'espérer que la nouvelle maturité constituera un cadre stimulant et adapté aux exigences multiples d'un monde complexe et interconnecté. Elle aidera ainsi à s'approprier ce **mode d'emploi** de la communication dont notre société a et aura besoin pour survivre.

Enseigner les télécommunications

Enseigner, c'est communiquer!

Et enseigner les télécommunications, c'est courir le risque d'être en contradiction avec la branche qu'on enseigne, c'est-à-dire parler de communication, sans communiquer vraiment...

Dans ce sens, c'est un **défi babélien**, un défi à la communication.

Mais ce risque vaut la peine d'être assumé, car il est finalement moins grave que celui qui consisterait à ne présenter cette branche que sous ses aspects purement théoriques, scientifiques et techniques, et à ignorer son contexte et son impact économique, social et humain.

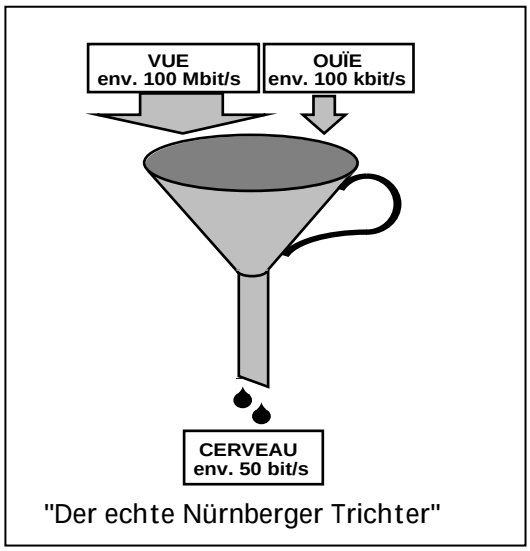
En disant cela, je mesure en tremblant toute la distance qui sépare les nobles intentions pédagogiques de la réalité vécue en auditoire... Les étudiants apprécieront!

Deux images ont hanté ma vision de l'enseignement des télécommunications:

- l'entonnoir (de Nuremberg)
- et la hache.

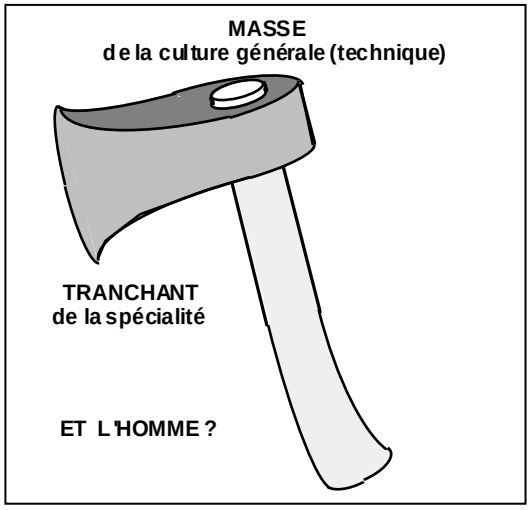
L**'entonnoir** est un avertissement. Il me rappelle le spectre du bourrage de crâne et la tentation de transmettre unilatéralement des connaissances, dans le meilleur des cas du savoir et du savoir-faire, par un monologue ex-cathedra autosuffisant.

J'avoue humblement y avoir aussi succombé. Il y a en effet un certain plaisir à faire partager ce qu'on croit avoir compris.



"Der echte Nürnberger Trichter"

Mais quand on réalise que, de l'énorme flux d'information qui entre en nous par les yeux (env. 100 Mbit/s) et par les oreilles (env. 100 kbit/s), notre cerveau ne parvient en fait à traiter vraiment que 50 bit/s, on apprend la modestie et on perd ses illusions d'enseignant prolixe...



Si la **hache** est un outil efficace, c'est parce qu'elle combine la masse et le tranchant.

En termes de formation: la **masse** de la culture générale (technique, en l'occurrence) et le **tranchant** de la spécialité.

Je crois que le secret d'une formation équilibrée pour les ingénieurs universitaires est dans la **synthèse** de ces deux éléments. Synthèse aussi entre des bases théoriques solides et larges, valables à long terme, et des compétences pointues (tranchantes!), applicables et efficaces, renouvelables, adaptables, actualisables en cours de carrière par une formation continue, aujourd'hui inéluctable.

En effet, le tranchant de la hache doit être périodiquement aiguisé pour garder son efficacité. Il s'use lorsque l'on s'en sert, mais rouille si l'on ne s'en sert pas.

La théorie reste pure, mais stérile, si elle ne débouche pas sur la décision concrète et la réalisation pratique.

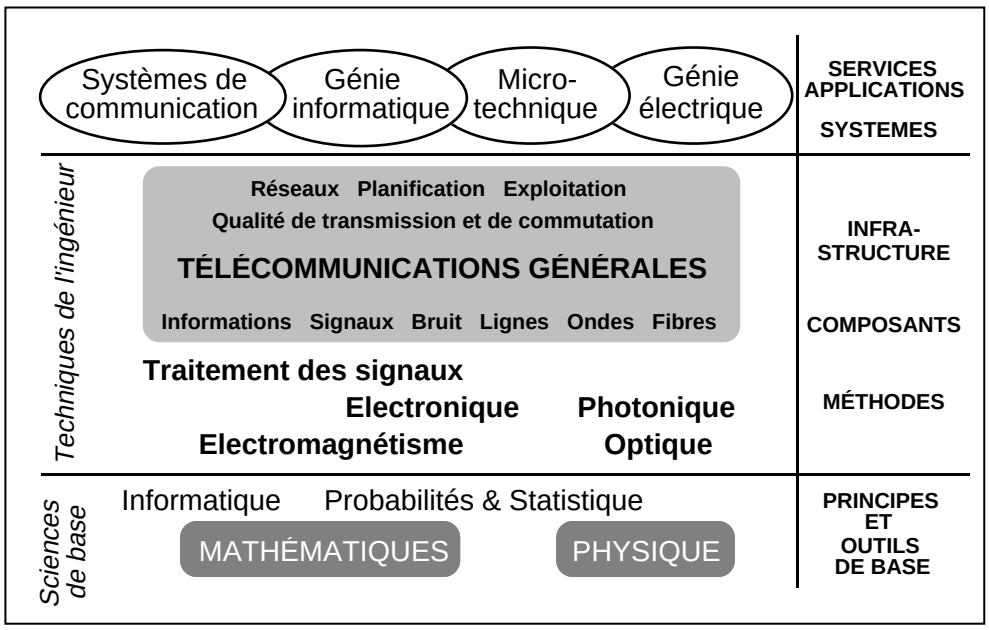
Certains diront qu'il n'y a pas de différence entre la théorie et la pratique. **Théoriquement** c'est peut-être vrai, mais **pratiquement** la différence est énorme!

Les **télécommunications** ont tout naturellement leur place dans la culture générale technique, au titre d'exemple d'une application interdisciplinaire et d'un système complexe. Elles concernent non seulement ceux qui les conçoivent et les exploitent, mais aussi ceux qui les utilisent, c'est-à-dire tout un chacun.

J'en veux pour preuve que cinq sections de l'EPFL ont demandé au Département d'électricité de leur fournir des enseignements de base dans les techniques de transmission et de communication.

J'ai conçu cet enseignement comme une **approche systémique** basée sur des connaissances théoriques préalables (mathématiques, physique, électromagnétisme, électronique, théorie du signal) et orientée vers la planification et l'exploitation de systèmes et de réseaux, en fonction de la qualité de service attendue par les usagers.

Ainsi appréhendées, les télécommunications font manifestement partie des **techniques de base de l'ingénieur**, non seulement pour l'enseignement, mais aussi pour la recherche**.** Elles se situent à l'interface entre les sciences de base, le niveau physique, les composants (électroniques et photoniques), d'une part, et les systèmes, réseaux et services qui en sont les applications, d'autre part.



Cette façon d'aborder la problématique des télécommunications tente une **synthèse** entre plusieurs éclairages possibles: théorique, pragmatique, empirique, heuristique. Par là, elle essaie de faire la différence entre la **rigueur scientifique** désincarnée du modèle et les **approximations justifiées**, nécessaires à l'appréhension pragmatique, voire même intuitive, d'une réalité complexe qui transcende le modèle.

A ce sujet, deux exemples:

1. La **transmission numérique** qui est à la base des réseaux actuels est, d'un point de vue strictement théorique, une **mission impossible**. La théorie du signal affirme en effet qu'un signal ne peut être simultanément limité en fréquence et dans le temps. Or l'ingénieur, qui a une horreur viscérale de l'infini, doit travailler avec des canaux de largeur déterminée et avec des signaux qui ne sauraient durer éternellement. Tout l'**"art de l'ingénieur"** réside alors dans un compromis consistant à choisir des signaux qui souffrent le moins possible de cette double troncature, fréquentielle et temporelle.
2. Le deuxième exemple montre qu'il faut se méfier de l'intuition, toute féconde qu'elle puisse être. Je ne résiste pas à l'envie de vous montrer ce qui se passe lorsqu'on commute alternativement entre deux fréquences, ici, pour les besoins de la démonstration, entre $f_1 = 2$ kHz et $f_2 = 3$ kHz (une quinte), une technique appelée modulation par décalage de fréquence FSK, utilisée en transmission de données. Comme on peut s'y attendre, le spectre de ce signal ne contient que les deux raies à f_1 et. f_2 . Mais si on augmente la

cadence de commutation entre f_1 et f_2 , le spectre explose en une multitude de raies, bien au-delà de f_1 et f_2 . On passe ainsi paradoxalement de ce qu'on appelle improprement en jargon des télécommunications une modulation de fréquence "à large bande" à une FM "à bande étroite". Ici l'approche intuitive échoue complètement et doit faire place à un traitement mathématique rigoureux (que je vous épargnerai!).

L'EPFL est une **école** poly**technique**.

La mention explicite de sa mission primordiale de **formation** a curieusement disparu de la formulation de ses trois objectifs stratégiques pour 2000-2003.

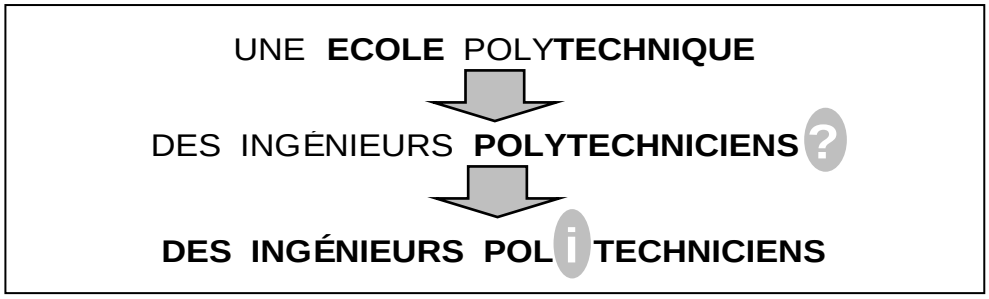
Je me permets cependant d'espérer que cette vocation garde sa place au centre de la raison d'être de l'EPFL.

Il n'y a en effet aucune honte pour une institution qui se veut prestigieuse à s'intituler "école", tant il est vrai que le mot grec *"skholé"* a le double sens de "discours savant" et de "loisir". Il inclut donc le plaisir de la recherche (et peut-être même la recherche du plaisir!).

L'EPFL est véritablement **polytechnique** dans le sens qu'elle couvre pratiquement tous les aspects de la technique ou, pour reprendre un autre mot grec, de la *"techné",* c'est-à-dire du savoir appliqué, littéralement de l'"art de l'ingénieur".

Mais les ingénieurs qu'elle forme sont-ils **poly-techniciens**? On peut en douter. Peut-être n'est-ce plus possible de nos jours où la spécialisation paraît inéluctable. Mais la **hache** ne doit pas devenir un **rasoir**, au risque de perdre sa force de frappe et de s'ébrécher ou de s'émousser rapidement.

Cultivons donc les bases solides, les visions larges, l'approche systémique, la pensée transversale et le sens des analogies pour faire des ingénieurs EPF **des généralistes capables de se spécialiser** et pour leur donner ainsi la possibilité de maîtriser la complexité des systèmes techniques.



Mon souhait cependant est que les ingénieurs que nous formons, à défaut d'être vraiment polytechniciens, soient des ingénieurs **politechniciens**, non pas parce qu'ils ne maîtrisent plus l'orthographe (ce qui est hélas vrai!), mais des ingénieurs insérés dans la **cité** (en grec :*"polis"),* dans la **société** (au même titre que la policlinique n'est pas une clinique multiple, mais une clinique dans la cité)**.** Des ingénieurs **compétents** dans leur domaine, animés d'un esprit de service, **responsables** de leurs actes et de leurs produits, **conscients** des implications économiques, sociales et culturelles de leur activité professionnelle.

La **hache** est un outil inutile, voire dangereux, si celui qui s'en sert manque de conscience professionnelle, n'a pas le sens du service ou pas de références éthiques.

Faut-il pour éviter cela offir à nos étudiants une vaste panoplie de cours en **sciences humaines**? Voire même les obliger à en suivre? Ce n'est certes pas inutile, mais pas non plus suffisant. Il me semble important que ces aspects de la profession d'ingénieur soient explicitement et clairement mis en relation avec la formation technique proprement dite, à défaut de quoi ils apparaîtront comme un ornement rapporté, comme un alibi pour se donner bonne conscience.

Les **télécommunications** sont justement un domaine idéal pour mettre en évidence l'impact d'une technique sur la société, ses contingences économiques, juridiques et politiques.

En plaçant **l'être humain au centre** (qu'il soit un étudiant, un ingénieur, un usager profane, mais exigeant, un client, un producteur industriel, un opérateur ou un prestataire de services), on peut, même comme enseignant technique, ignare et incompétent en sciences humaines, au moins sensibiliser l'étudiant, avec humilité et conviction, à sa future responsabilté d'ingénieur, d'une manière d'autant plus crédible et motivante que l'on a soi-même été confronté professionnellement à ces problèmes et été impliqué dans un dialogue avec les spécialistes des sciences humaines et sociales.

Prêcher modestement par **l'exemple authentique et vécu** est, je crois, une façon d'ouvrir l'esprit de nos étudiants et de leur donner envie d'aller plus loin à la rencontre de l'autre, en dépit des difficultés, des barrières et des différences de vocabulaire et de méthode.

Vivre dans l'Après-Babel, c'est aussi cela!

Ouverture finale...

Avant de conclure, je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous ceux avec lesquels j'ai parfois été tenté de construire un bout de la Tour de Babel, mais avec lesquels j'ai bien plus souvent connu la grâce du partage, de l'échange et de la confiance réciproque.

Je pense en particulier et d'abord à ma famille:

- à mes parents: mon père ingénieur, ma mère artiste qui m'ont donné cette double sensibilité, riche de contrastes, et qui m'ont toujours fait confiance
- à mon grand-père maternel, Victor Amaudruz (celui qui est né deux ans avant le téléphone): avec philosophie, il m'a aidé à devenir un homme
- à mon épouse et nos deux fils qui m'ont supporté (dans les deux sens du mot), encouragé avec beaucoup d'affection et soutenu de tout leur coeur

Sur le plan professionnel, je pense

- à mes maîtres à l'EPUL, il y a plus de 40 ans: Ernest Juillard, Robert Goldschmidt, Roger Dessoulavy, Erna Hamburger et Jean-Jacques Morf
- à mon premier chef au Zentrallabor de Siemens à Munich, Hans-Martin Christiansen, qui m'a appris le métier d'ingénieur
- aux directeurs d'Albiswerk à Zurich, MM. Georgii et Bolay, qui m'ont fait confiance pour développer et promouvoir la commutation électronique, puis numérique, à une époque où peu y croyaient
- à deux anciens présidents de l'EPFL, MM. Cosandey et Vittoz qui, en 1972, ont pris le risque un peu fou, le premier comme président de l'Ecole, le second comme membre de la commission de nomination, de faire nommer

professeur un jeune ingénieur suisse, sans doctorat, qui n'avait jamais été aux USA, qui n'avait à son actif que quatre publications mineures et quelques brevets, 14 ans d'expérience industrielle, mais surtout une irrésistible envie d'enseigner (qui ne l'a pas quitté depuis). Je ne suis pas sûr qu'on oserait encore prendre un tel risque aujourd'hui...

- à mes collaboratrices et collaborateurs, anciens et actuels, de l'équipe TCOM qui ont toujours su se montrer dignes de la confiance que je me suis donné comme principe de leur témoigner, en réponse à la confiance que j'avais moi-même reçue des autres
- à vous enfin, chères étudiantes et chers étudiants, d'ici ou d'ailleurs, passés et présents, tous différents, chacun unique. Avec vous, j'ai beaucoup appris. J'ai appris en particulier que la vie dans l'Après-Babel est non seulement possible, mais belle et enrichissante.

Au-delà du bavardage et de la gesticulation,

au-delà du surf sur le Net (qui est littéralement une navigation en surface, donc superficielle),

au-delà de la mobilité réelle ou virtuelle et de l'ubiquité,

au-delà de la télématique et du multimédia,

je crois qu'il existe **une communication silencieuse**, non pas tacite ou taciturne, mais un silence habité d'une présence indicible, qui nous conduit jusqu'à la forme suprême de communication qu'est la prière.

Dans ce sens et en guise de point suspensif final, je vous laisse ce proverbe arabe:

Pour ceux d'entre vous qui, bien que sensibles à son esthétique, auraient quelque peine à déchiffrer la calligraphie arabe, en voici le sens:

"Si ce que tu as à dire est moins beau que le silence, alors tais-toi!"

C'est ce que je vais faire maintenant, en vous suggérant d'écouter un instant ce beau silence...

• • •